

- разработка и реализация технологических мероприятий по достижению срока службы, адекватного стоимости (смачиваемые алюминием покрытия подины, бортовая футеровка из карбидокремниевых плит и др.);

- разработка и реализация технических мероприятий по обеспечению производства первичного алюминия высоких марок (определение оптимального соотношения свежий глинозем – фторированный глинозем, снижение содержания примесей во фторированном глиноземе).

УДК 621. 762

## **ПЛАЗМОСИНТЕЗ КАРБИДА ЦИРКОНИЯ: ИССЛЕДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ**

*Т.И. Алексеева<sup>1</sup>, Г.В.Галевский<sup>1</sup>, В.В.Руднева<sup>1</sup>, С.Г.Галевский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»,  
г. Новокузнецк, Россия, [kafcmet@sibsiu.ru](mailto:kafcmet@sibsiu.ru) <sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный  
университет», г. Санкт-Петербург, Россия, [sgalevskii@gmail.com](mailto:sgalevskii@gmail.com)

Одной из важнейших задач современного материаловедения является получение материалов для работы в экстремальных условиях – при высоких температурах и напряжениях, под воздействием агрессивных сред и т.п. В решении этих задач существенная роль принадлежит использованию соединений тугоплавких металлов с бором, углеродом, азотом, кремнием – боридов, карбидов, нитридов и силицидов, которые, наряду с высокой твердостью и тугоплавкостью, обладают жаростойкостью и жаропрочностью, специфическими физическими и химическими свойствами. Среди карбидов тугоплавких металлов высокими эксплуатационными свойствами обладает карбид циркония, что делает его потенциально пригодным для решения многих задач современного материаловедения. Быстротечный синтез в условиях турбулентного химически активного плазменного потока (т.н. плазмосинтез) в непрерывном режиме обеспечивает получение карбида циркония в нанодисперсном состоянии.

На основе интерпретации результатов теоретических и экспериментальных исследований разработан непрерывный технологический процесс получения карбида циркония в плазмометаллургическом реакторе.

Для реализации плазмосинтеза карбида циркония предлагается аппаратурно-технологическая схема, представленная на рисунке 1 [1-3], включающая следующие операции и стадии: 1) входной контроль сырья и технологических газов; 2) подготовка порошка  $ZrO_2$ : хранение, дозирование; загрузка в порошковый дозатор; 3) плазмообработка; 4) охлаждение и частичное осаждение в закалочной-осадительной камере отходящего от

реактора газового потока до рабочей температуры рукавных металлканевых фильтров (600-800 K), отделение от него карбида циркония в фильтрах; 5) аттестация нанокристаллического ZrC по химическому составу и дисперсности, упаковка в запаянные двойные полиэтиленовые пакеты и отправка на склад готовой продукции.

Основные показатели качества и технико-экономические показатели получения карбида циркония для условий производства заказных партий представлены в таблице. Производственная себестоимость и отпускная цена рассчитывались в соответствии с рекомендациями [4]. Требуемый объем инвестиций для организации производства карбида циркония в составе 3-х плазмометаллургических реакторов общей мощности 450 кВт составляет 123,7 млн. руб. При этом прогнозируется достижение годовой производительности 54 т/год при отпускной цене 35142 руб./кг(576\$/кг). Себестоимость карбида циркония составляет 20539 руб./кг и имеет следующую структуру, %: сырье, материалы, электроэнергия 86; заработная плата и отчисления на социальные нужды 3; содержание и эксплуатация оборудования 4; расходы общецеховые, общехозяйственные, коммерческие 7. Срок окупаемости капитальных вложений составляет четыре месяца.

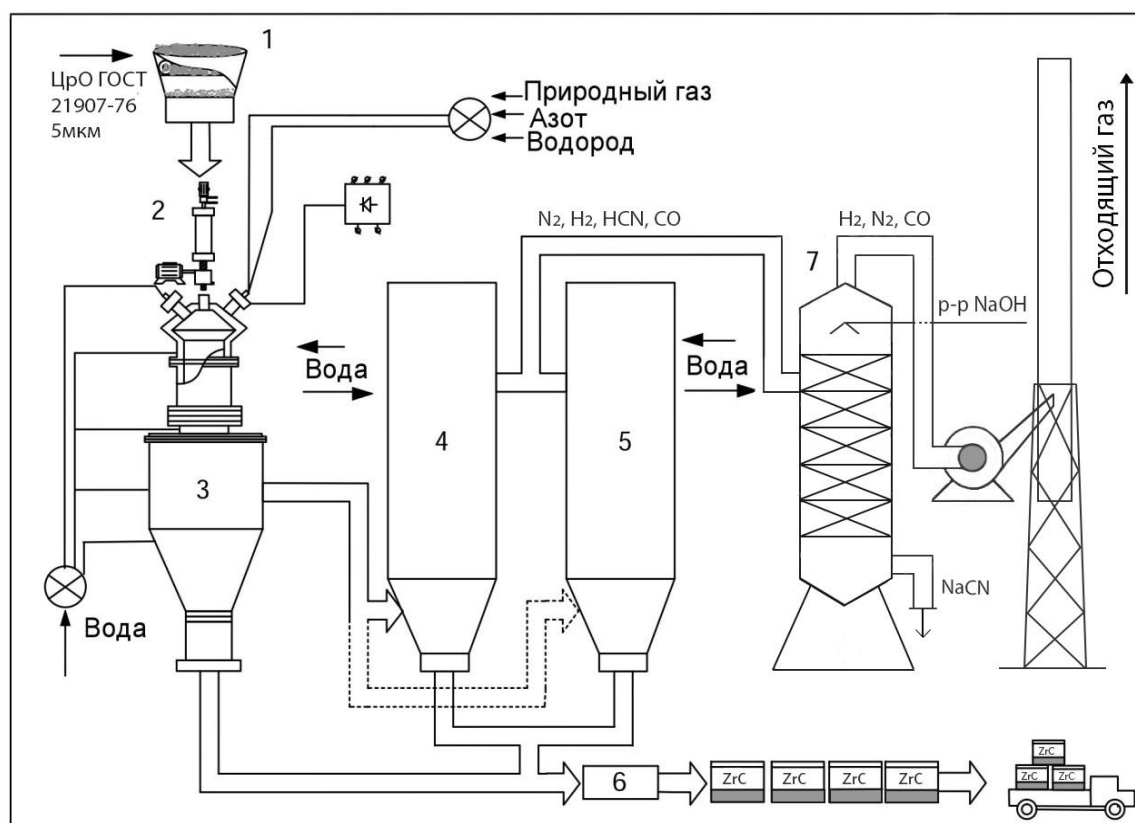


Рис. 1. Аппаратурно-технологическая схема получения карбида циркония: 1 – протирка порошкообразного сырья; 2 – загрузка порошка  $ZrO_2$  в дозатор; 3 – плазмообработка; 4-5– охлаждение отходящего пылегазового потока и отделение целевого продукта; 6 – сбор, контроль качества и упаковка; 7 – абсорбционный вариант обезвреживания отходящих газов

Таблица

## Основных технико-экономических показателей производства карбида циркония

Показатели	Значение
Производственная площадь, м <sup>2</sup>	300
Установленная мощность, кВт	450
Количество реакторов, шт	3
Коэффициент использования оборудования, доли ед.	0,7
График работы, количество смен	2 смены · 12 час.
Инвестиции в основные и оборотные фонды, млн. руб.	123,7
Удельный расход газа теплоносителя (азота), т/т	5,73
Удельный расход природного газа (метана), т/т	0,15
Удельный расход цирконийсодержащего сырья, т/т	0,99
Удельный расход электроэнергии, тыс. кВт·ч/т	42,81
Содержание основной фазы (ZrC), %	92
Годовая потребность в сырье, т/год	
- диоксид циркония ЦрО ГОСТ 21907-76	26,3
- природный газ (метан)	4,9
Годовая производительность, т/год	54,5
Плановая себестоимость, руб/кг	20539
Цена (на 01.05.2018), руб/кг	35142
Срок окупаемости капитальных вложений, лет	0,3

Сопоставление цены с ценовыми предложениями для нанокристаллического карбида циркония зарубежных компаний, представленное на рис. 2, свидетельствуют о конкурентоспособности разработанного технологического процесса.

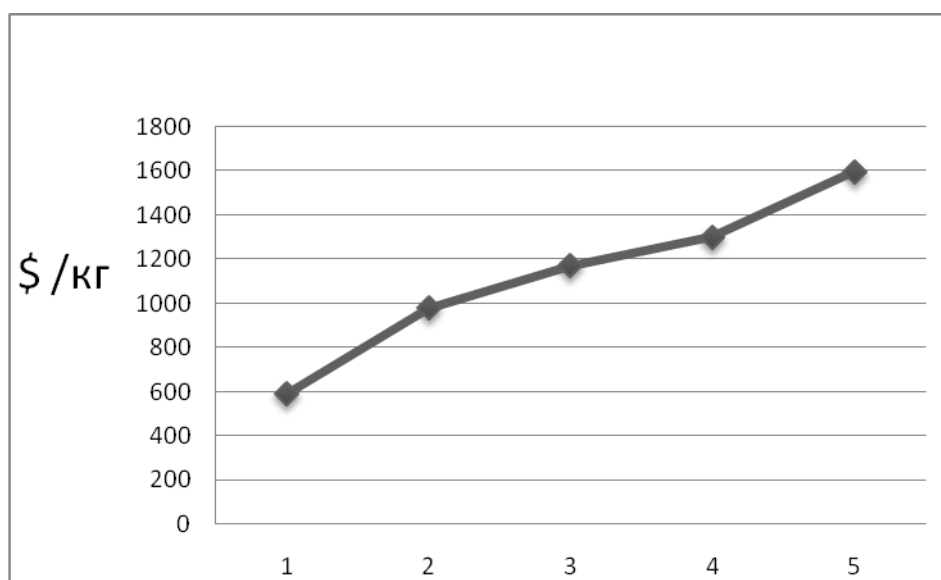


Рис. 2. Мировой уровень цен на нанокристаллический карбид циркония: 1–Предлагаемая технология; 2– «AmericanElements» (Лос-Анджелес); 3– «PlasmaChemGmbH» (Берлин); 4– «NEOMATCo» (Саласпилс); 5– «Nanostructured&AmorphousMaterials, Inc.» (Хьюстон)

Сформулированы на основе сформированных представлений об особенностях физико-химических свойств карбида циркония в нанокристаллическом состоянии технические прогнозы и предложения по применению его в составе функциональных защитных покрытий. В условиях ООО «Полимет» установлена целесообразность применения карбида циркония в составе коррозионностойких защитных покрытий на основе никеля взамен используемых наноалмазов.

#### Литературва

1. Дубчак Р.В. Совершенствование производства алюминия за рубежом / Р.В. Дубчак // Цв. металлургия – 1994 - №10 – С. 28-33.
2. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Мировое и отечественное производство: оценка, тенденции, прогнозы. / Г.В. Галевский, Н.М. Кулагин, М.Я. Минцис – М.: Флинта: Наука, 2004 – 280 с.
3. Технология наноматериалов : практикум / Сиб. гос. индустр. ун-т, сост. ; Г.В. Галевский, В.В. Руднева. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2018. – 29 с., ил.
4. Керимов В.Э. Учет затрат, калькулирование и бюджетирование в отдельных отраслях производственной сферы / В.Э. Керимов. – 8-е изд., перераб. И доп. – М.: Издательство-торговая корпорация «Дашков и К», 2014. – 384 с.

УДК 669.27/.29+669.85/.86

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСТРАКЦИОННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО ЭВДИАЛИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА**

*Е.В. Богатырева<sup>1</sup>, А.В. Чуб<sup>2</sup>, А.Г. Ермилов<sup>1</sup>*

(<sup>1</sup> НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия, Helen\_Bogatureva@mail.ru; <sup>2</sup> ОАО «Соликамский магниевый завод», г.Соликамск, Россия, chub328@rambler.ru)

Эвдиалит — один из перспективных источников получения редкоземельных металлов (РЗМ) в России. Эвдиалит обогащен наиболее востребованными РЗМ тяжелой группы, легко разлагаем в кислотах, но значительное количество кремния (40–60 % SiO<sub>2</sub>) в его составе приводит к образованию аморфного диоксида кремния, который осаждается в виде плохо фильтруемого геля, и к снижению извлечения РЗМ в раствор.

Ранее [1-3] установлено, что при экстракционном выщелачивании 95 %-ного эвдиалита 100%-ным трибутилфосфатом (ТБФ), насыщенным концентрированной HNO<sub>3</sub>, практически полностью подавляются процессы гелеобразования кремниевой кислоты. Предварительная механическая активация (до 3 мин) эвдиалитового концентрата с последующей сольвометаллургической обработкой в агитаторе позволила повысить